

**REFLECTING MIRROR AND ITS MANUFACTURING METHOD**

Patent Number: JP10339799  
Publication date: 1998-12-22  
Inventor(s): MURAKAMI KATSUHIKO; KATOU TOKIO; SHINADA KUNINORI  
Applicant(s): NIKON CORP  
Requested Patent: JP10339799  
Application Number: JP19970149701 19970606  
Priority Number(s):  
IPC Classification: G21K1/06  
EC Classification:  
Equivalents:

---

**Abstract**

---

**PROBLEM TO BE SOLVED:** To inhibit thermal deformation due to an X-ray application beam by forming the amorphous substance of a thin film or the main constituent of the amorphous substance with nickel alloy.

**SOLUTION:** For example, a substrate 3 for X-ray mirror where an amorphous thin film 2 consisting of nickel alloy is formed is formed on a substrate 1 made of invar and an X-ray reflection multilayer film 4 with a period length of 6.7 nm and 50 layers being made of Mo and Si is formed on the surface of the substrate 3 by ion beam sputtering, thus completing an X-ray reflection mirror. With the X-ray reflection mirror, even if a heat flux of 10 mW/cm<sup>2</sup> is applied to its entire surface or its one portion, thermal deformation reaches 0.1 nm or less and the optical system of diffraction limit using X rays with a wavelength of 13 nm can be configured by cooling a reverse side and maintaining a constant temperature. A reflection mirror thus created has small shape error and surface roughness and can suppress thermal deformation due to application of, for example, X rays. Also, the high resolution and the high throughput of an X-ray projection exposure device used for the X-ray optical system can both be established.

---

BEST AVAILABLE COPY

(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号

特開平10-339799

(43) 公開日 平成10年(1998)12月22日

(51) Int.Cl.<sup>6</sup>

識別記号

F I

G 2 1 K 1/06

G 2 1 K 1/06

C

D

審査請求 未請求 請求項の数 7 O L (全 7 頁)

(21) 出願番号 特願平9-149701

(22) 出願日 平成9年(1997)6月6日

(71) 出願人 000004112

株式会社ニコン

東京都千代田区丸の内3丁目2番3号

(72) 発明者 村上 勝彦

東京都千代田区丸の内3丁目2番3号 株

式会社ニコン内

(72) 発明者 加藤 登樹雄

東京都千代田区丸の内3丁目2番3号 株

式会社ニコン内

(72) 発明者 品田 邦典

東京都千代田区丸の内3丁目2番3号 株

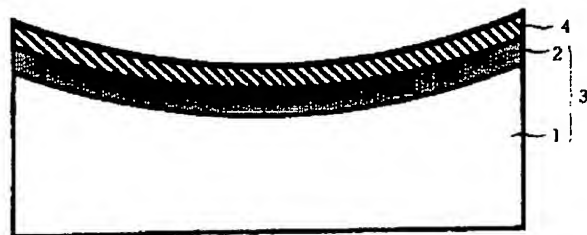
式会社ニコン内

(54) 【発明の名称】 反射鏡及びその製造方法

(57) 【要約】

【課題】 X線などの照射光による熱変形を充分小さく抑えることのできる反射鏡とその製造方法を提供すること。

【解決手段】 少なくとも、低熱膨張性の金属製基板1または合金製基板1と、該基板1の表面に形成されてなる、表面が光学的に平滑な非晶質物質の薄膜2と、該薄膜2の表面に形成されてなる、所定波長のX線を反射する多層膜4と、を有する反射鏡において、前記非晶質物質をニッケル合金とするか、あるいは前記非晶質物質の主成分をニッケル合金としたことを特徴とする反射鏡。



- 1 金属製基板
- 2 非晶質薄膜
- 3 基板
- 4 多層膜

【特許請求の範囲】

【請求項1】 少なくとも、低熱膨張性の金属製基板または合金製基板と、該基板の表面に形成されてなる、表面が光学的に平滑な非晶質物質の薄膜と、を有する反射鏡において、

前記非晶質物質をニッケル合金とするか、あるいは前記非晶質物質の主成分をニッケル合金としたことを特徴とする反射鏡。

【請求項2】 少なくとも、低熱膨張性の金属製基板または合金製基板と、該基板の表面に形成されてなる、表面が光学的に平滑な非晶質物質の薄膜と、該薄膜の表面に形成されてなる、所定波長のX線を反射する多層膜と、を有する反射鏡において、

前記非晶質物質をニッケル合金とするか、あるいは前記非晶質物質の主成分をニッケル合金としたことを特徴とする反射鏡。

【請求項3】 前記基板の線膨張率が $1 \times 10^{-7}/K$ 以下であることを特徴とする請求項1または2記載の反射鏡。

【請求項4】 前記基板の材料をインバー型合金としたことを特徴とする請求項3記載の反射鏡。

【請求項5】 少なくとも、低熱膨張性の金属製基板または合金製基板を用意する工程と、

前記基板上に、ニッケル合金の非晶質薄膜またはニッケル合金を主成分とする非晶質薄膜を形成する工程と、前記非晶質薄膜の表面を光学的な平滑面に加工する工程と、を有する反射鏡の製造方法。

【請求項6】 少なくとも、低熱膨張性の金属製基板または合金製基板を用意する工程と、

前記基板上に、ニッケル合金の非晶質薄膜またはニッケル合金を主成分とする非晶質薄膜を形成する工程と、前記非晶質薄膜の表面を光学的に平滑面に加工する工程と、前記平滑面に加工された非晶質薄膜の表面に、所定波長のX線を反射する多層膜を形成する工程と、を有する反射鏡の製造方法。

【請求項7】 前記非晶質薄膜を無電解メッキ法により形成することを特徴とする請求項5または6記載の製造方法。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明が属する技術分野】本発明は、X線縮小投影露光装置等のX線光学系や、X線光学系以外の光学系に用いられる反射鏡と、その製造方法に関するものである。

【0002】

【従来の技術】近年、半導体集積回路素子の微細化に伴い、光の回折限界によって制限される光学系の解像力を向上させるために、従来の紫外線に代えて、これより波

長が短いX線を使用した投影リソグラフィ技術が開発されている。この技術に使用されるX線投影露光装置は、主としてX線源、照明光学系、マスク、結像光学系、ウェファーステージ等により構成される。

【0003】X線源には、放射光光源やレーザープラズマX線源が使用される。照明光学系は、斜入射ミラー、多層膜ミラー、所定波長のX線のみを反射または透過させるフィルター等により構成され、マスク上に所望波長のX線で照明する。マスクには透過型マスクと反射型マスクとがある。透過型マスクは、X線を良く透過する物質からなる薄いメンブレンの上にX線を吸収する物質を所定形状に設けることによりパターンを形成したものである。

【0004】一方、反射型マスクは、例えばX線を反射する多層膜上に反射率が低い部分を所定形状に設けることによりパターンを形成したものである。このようなマスク上に形成されたパターンは、複数の多層膜ミラーで構成された投影結像光学系により、フォトレジストが塗布されたウェファーステージ上に結像されて該レジストに転写される。

【0005】なお、X線は大気中に吸収されて減衰するため、その光路は全て所定真空度に維持されている。X線の波長域では、透明な物質は存在せず、また物質表面での反射率も非常に低いので、レンズやミラーなどの通常の光学素子が使用できない。そのため、X線用の光学系は、反射面に斜め方向から入射したX線を全反射させる斜入射ミラーや、多層膜の各界面における反射光の位相を一致させて、干渉効果を利用して高い反射率を得る多層膜ミラー等により構成されている。

【0006】しかし、前記斜入射ミラーを用いた斜入射光学系は収差が大きいため、回折限界の解像力を得ることはできない。これに対して、前記多層膜ミラーはX線を垂直に反射することが可能であり、回折限界のX線光学系を構成することができる。従って、X線投影露光装置の結像光学系は、すべて多層膜ミラーにより構成される。

【0007】このようなX線反射多層膜ミラーは、シリコンのL吸収端（12.3nm）の長波長側において、モリブデンとシリコンからなる多層膜としたときに最も高い反射率が得られ、波長13～15nmでは入射角によらず70%程度の反射率を示す。なお、シリコンのL吸収端よりも短波長側において、垂直入射で30%以上の反射率が得られる多層膜は未だ開発されていない。

【0008】多層膜ミラーを構成する基板の材料には、形状精度が高く、しかも表面粗さを小さくする加工が可能な、石英等のガラス材料が用いられている。

【0009】

【発明が解決しようとする課題】前記X線投影露光装置において、実用的なスループット（例えば、8インチウェファーステージで30枚/1時間、程度）を得るためには、結像

光学系を構成する多層膜ミラーの表面に、ある程度大きい強度（例えば、 $10\text{ mW/cm}^2$  程度）のX線を照射する必要がある。

【0010】一方、多層膜ミラーの反射率は高々70%程度であり、残りは多層膜で反射されずに吸収、透過、散乱される。散乱による損失はわずかであり、多層膜を透過したX線は、ミラー基板により完全に吸収される。即ち、多層膜ミラーで反射されなかったX線の大部分は、多層膜ミラーに吸収されて、そのエネルギーは熱に変換される。この熱により多層膜ミラーの温度が上昇して、多層膜ミラーに熱変形を生じることになる。

【0011】一般に、光学系で回折限界の解像力を得るためには、使用する光の波長と比較して光学系を構成するミラーやレンズの形状誤差を充分小さくする必要がある。そして、X線を用いた光学系では、可視光や紫外線を用いた光学系よりも、波長が短い分だけ形状誤差の許容範囲は狭くなる。そうしてみると、前述したX線照射による多層膜ミラーの熱変形は、多層膜ミラーの結像特性に大きな影響を与えることになり、設計通りの解像力が得られなくなる恐れがある。

【0012】そこで、このような熱変形による結像特性への影響を防ぐために、基板の裏面からミラーを冷却することが行われているが、十分な効果を得ることはできないという問題点がある。なお、X線光学系は真空中で使用されるので、ミラー表面からの放熱はほとんど無い。

【0013】従って、熱変形による結像特性への影響を防ぐためには、ミラーへ入射するX線の強度を抑制する他はなく、そうすると該ミラーを用いたX線投影露光装置のスループットが低下するという問題点があった。即ち、従来のミラーでは、X線投影露光装置の高解像力と高スループットとを両立させることができないという問題点があった。

【0014】以上は、X線投影露光装置のX線光学系についてその問題点を説明したが、反射鏡の熱変形に伴う問題点は、それ以外のX線光学系やX線波長域とは異なる波長域の光線を使用する光学系においても、程度の差はあれ生じていた。本発明は、かかる問題点を鑑みてなされたものであり、形状誤差及び表面粗さが小さく、しかもX線などの照射光による熱変形を充分小さく抑えることのできる反射鏡とその製造方法を提供することを目的とする。

【0015】

【課題を解決するための手段】そのため、本発明は第一に「少なくとも、低熱膨張性の金属製基板または合金製基板と、該基板の表面に形成されてなる、表面が光学的に平滑な非晶質物質の薄膜と、を有する反射鏡において、前記非晶質物質をニッケル合金とするか、あるいは前記非晶質物質の主成分をニッケル合金としたことを特徴とする反射鏡（請求項1）」を提供する。また、本発

明は第二に「少なくとも、低熱膨張性の金属製基板または合金製基板と、該基板の表面に形成されてなる、表面が光学的に平滑な非晶質物質の薄膜と、該薄膜の表面に形成されてなる、所定波長のX線を反射する多層膜と、を有する反射鏡において、前記非晶質物質をニッケル合金とするか、あるいは前記非晶質物質の主成分をニッケル合金としたことを特徴とする反射鏡（請求項2）」を提供する。

【0016】また、本発明は第三に「前記基板の線膨張率が $1 \times 10^{-7}/\text{K}$ 以下であることを特徴とする請求項1または2記載の反射鏡（請求項3）」を提供する。また、本発明は第四に「前記基板の材料をインバー型合金としたことを特徴とする請求項3記載の反射鏡（請求項4）」を提供する。

【0017】また、本発明は第五に「少なくとも、低熱膨張性の金属製基板または合金製基板を用意する工程と、前記基板上に、ニッケル合金の非晶質薄膜またはニッケル合金を主成分とする非晶質薄膜を形成する工程と、前記非晶質薄膜の表面を光学的に平滑面に加工する工程と、を有する反射鏡の製造方法（請求項5）」を提供する。

【0018】また、本発明は第六に「少なくとも、低熱膨張性の金属製基板または合金製基板を用意する工程と、前記基板上に、ニッケル合金の非晶質薄膜またはニッケル合金を主成分とする非晶質薄膜を形成する工程と、前記非晶質薄膜の表面を光学的に平滑面に加工する工程と、前記平滑面に加工された非晶質薄膜の表面に、所定波長のX線を反射する多層膜を形成する工程と、を有する反射鏡の製造方法（請求項6）」を提供する。

【0019】また、本発明は第七に「前記非晶質薄膜を無電解メッキ法により形成することを特徴とする請求項5または6記載の製造方法（請求項7）」を提供する。

【0020】

【発明の実施の形態】本発明（請求項1～4）にかかる、少なくとも、低熱膨張性の金属製基板または合金製基板と、該基板の表面に形成されてなる、表面が光学的に平滑な非晶質物質の薄膜と、を有する反射鏡や、前記非晶質物質の薄膜上にさらにX線反射多層膜を設けた反射鏡においては、前記非晶質物質をニッケル合金とするか、あるいは前記非晶質物質の主成分をニッケル合金としたので、形状誤差及び表面粗さを小さくし、かつX線などの照射光による熱変形を充分小さく抑えることができる。

【0021】そして、本発明（請求項1～4）にかかる反射鏡は、これをX線光学系に用いたX線投影露光装置の高解像力と高スループットとを両立させることができる。本発明にかかる反射鏡は、X線投影露光装置以外のX線光学系や、X線以外の波長域で使用する高精度の反射光学系にも適用可能であり、同様の効果が得られる。

【0022】なお、X線以外の波長域で使用する高精度の反射光学系に適用する場合には、X線を反射する多層膜は不要である。本発明にかかる低熱膨張性の金属製基板または合金製基板として、線膨張率が $1 \times 10^{-7}/K$ 以下のものを使用すると、光照射による基板の熱変形を大きく抑制することができるので好ましい（請求項3）。

【0023】X線以外の波長域で使用する高精度の反射光学系に適用する場合には、基板の線膨張率はX線光学系ほど小さい値は要求されず、例えば可視光光学系に適用するときには、 $5 \times 10^{-6}/K$ 程度の値でよい。線膨張率が $1 \times 10^{-7}/K$ 以下の基板材料としては、線膨張率が非常に小さいインバー型合金が好ましい（請求項4）。

【0024】ここで、X線光学系に使用する多層膜ミラーを一例として、多層膜ミラーの表面にX線が照射されたときのミラー表面の変形がどの程度になるかを説明する。実際のミラー変形は、ミラーの寸法形状により大きく異なるので、正確にミラー変形を見積もるためには有限要素法等による計算が必要であるが、ここでは以下のように単純化して、変形の概略値を見積もることとする。

【0025】図2（a）に示すように、裏面が一定温度Tの熱浴（裏面を冷却して一定温度に保つことに相当する）に接した基板（厚さd）の表面の一部に定常的な熱

流束Q（照射されたX線のうち、反射せずに基板に吸収されるエネルギー）が投入されたときの、投入部分における基板面に垂直な方向（x方向）の伸び（または縮み） $\Delta x$ を考える。

【0026】ここでは、横方向の熱伝導は考えず、またX線はすべて基板表面で吸収されると単純化する。このとき基板の内部には、図2（b）に示すように、x方向に一樣な温度勾配が生じるので、位置xにおける温度（熱浴との温度差）T（x）は

【0027】

【数1】

$$T(x) = \frac{Q}{\eta} x$$

【0028】ただし、 $\eta$ は熱伝導率により与えられる。そして、基板内の薄い層（厚さ $\delta x$ ）の伸び $\Delta(\delta x)$ は、

【0029】

【数2】

【0030】 $\Delta(\delta x)$ を与えられる。ここで、 $\alpha$ は基板材料の熱膨張係数（線膨張率）である。従って、基板全体の伸び $\Delta x$ は、

【0031】

【数3】

$$\Delta x = \int \Delta(\delta x) = \alpha \int_0^d T(x) dx = \frac{\alpha Q}{\eta} \int_0^d x dx = \frac{\alpha Q d^2}{2\eta}$$

【0032】となる。次に、これらの式を用いて具体的な値を見積もる。紫外光を用いた投影露光装置の屈折光学系に広く用いられている熔融石英（ $SiO_2$ ）の熱伝導率は $1.38 W/m \cdot K$ 、熱膨張係数は $0.5 \times 10^{-6}$ である。ここでは、基板へ投入される熱流束Qは $10 mW/cm^2$ とする。

【0033】X線投影露光装置において実用的な露光領域の寸法を確保するためには、ミラー直径は200mm程度が必要である。そして、ミラー形状を精度良く維持するためには一般に、厚さは前記直径の1/4程度が必要であるで、基板の厚さdは50mmとする。これらの数値を式（3）に代入して熔融石英の熱変形量を計算すると45.3nmとなる。

【0034】光学系の波面収差を波長の1/4以内とするレイリーの条件を用いると、光学系を構成するミラー1枚あたりの形状精度は、

【0035】

【数4】

$$\left( \frac{\lambda}{4} \times \frac{1}{2} \right) \times \frac{1}{\sqrt{n}}$$

【0036】以内に抑えなければならない。ここで、n

は光学系を構成するミラーの枚数であり、1/2を掛けであるのは反射系であるためである。例えば4枚のミラーにより構成された光学系を波長13nmで使用する場合、1枚のミラーに許容される形状誤差（許容形状誤差）は0.81nmとなる。熔融石英を基板に用いた場合には、熱変形量は前記許容形状誤差からかけ離れた大きな値になるので、熔融石英を基板に用いたミラーにより構成したX線光学系では回折限界の解像力を得ることはできない。

【0037】金属は自由電子による寄与のために熱伝導率は大きい、一般に熱膨張係数も大きい。しかし、鉄とニッケルの合金であるインバー（Invar）型合金は、磁歪の影響により、著しく小さな熱膨張係数を示す材料として知られており、具体的には、Fe-Ni合金、Fe-Ni-Co合金、Fe-Co-Cr合金、Fe-Pt合金、Fe-Pd合金、Zr-Nb-Fe合金、Cr-Fe-Sn合金、Mn-Ge-Fe合金、Fe-B非晶質合金およびFe-Ni-Zr非晶質合金等がある。以下では、インバー型合金をインバーと称する。

【0038】典型的なインバーの熱伝導率は $12.9 W/m \cdot K$ 、熱膨張係数は $0.01 \times 10^{-6}$ である。この数値から式（3）によりインバーの熱変形量を計算すると0.097 n

mとなり、前記許容形状誤差と比べて充分小さく抑えることが可能である。しかしながら、一般に金属には微細な結晶粒界が存在するので、その表面をナノメートルオーダーの平滑な表面に研磨することは困難である。

【0039】Alan G. Michette 著のOptical Systems for X Rays (1986 Plenum Press, NewYork) の74頁に、X線用ミラー材料の候補となる物質について、研磨加工により得られる表面粗さが記されている。それによると、各材料で得られた最小表面粗さのrms値(二乗平均値)は、溶融石英とCVD (Chemical Vapor Deposition) 法により作製したSiCで最も小さく0.4 nmである。これらの材料は、微細構造を持たない非晶質物質なので平滑な表面を得ることができる。

【0040】しかし、金属であるインバーでは2.8 nm程度の表面粗さまでにしか加工することができない。X線用の多層膜ミラーの基板に必要な表面粗さの大きさは次式により見積もることができる。

【0041】

【数5】

$$R = R_0 \exp \left\{ - \left( \frac{4\pi\sigma \sin\theta}{\lambda} \right)^2 \right\}$$

【0042】

ただし、 $R_0$  : 表面粗さが無いときの反射率

$R$  : 表面粗さによる散乱損失があるときの反射率

$\sigma$  : 表面粗さのRMS 値

$\lambda$  : X線の波長

$\theta$  : 斜入射角

ここで、 $\lambda = 13 \text{ nm}$ 、 $\theta = 90^\circ$  (垂直入射) としたときの、表面粗さ $\sigma$ に対する $R/R_0$ の値を図3に示す。

【0043】この図より明らかなように、表面粗さ0.4 nmのSiCや溶融石英を多層膜ミラーの基板に使用すれば、粗さが無い理想的な場合の9割近い反射率が得られるが、表面粗さ2.8 nmのインバーを基板に使用した場合には、X線は全く反射しなくなる。そこで本発明者らは、鋭意検討の結果、低熱膨張性の基板(例えば、インバー基板)の表面に、表面粗さを小さくする加工が可能な非晶質物質層を形成すれば、熱変形と表面粗さのいずれも十分に小さいミラーを製造できることを見い出した。

【0044】即ち、図1に示すように、インバー等の低熱膨張性材料の基板の上に非晶質物質の薄膜層(ニッケル合金の非晶質薄膜層またはニッケル合金を主成分とする非晶質薄膜層)を形成し、この表面に加工(例えば、切削、研削、研磨)を施してミラーとするか、或いは前記加工を施した非晶質物質の薄膜層上にさらにX線反射多層膜を形成して多層膜ミラーとすれば、熱変形と表面粗さのいずれも十分に小さいミラーを製造できることを本発明者らは見い出した(請求項5、6)。

【0045】前記Michetteの書物には、無電解メッキにより形成したニッケルの表面粗さは1.1 nmとされているが、最近の加工(例えば、切削、研削、研磨)技術の進歩によりSiCや溶融石英に匹敵する表面粗さの小さい加工が可能になってきた。そこで、本発明では、前記非晶質物質の薄膜層として、ニッケル合金の非晶質薄膜層またはニッケル合金を主成分とする非晶質薄膜層を採用した。

【0046】式(4)により、インバーの表面にニッケル薄膜を形成した基板の熱変形 $\Delta x$ を調べた。ここで、基板に投入される熱流束 $Q$ は $10 \text{ mW/cm}^2$ 、基板全体の厚さは50 mmとした。インバーだけの場合には、変形量は0.097 nmである。この表面に1 mmの厚さのニッケル薄膜層を形成しても、ニッケル薄膜層の熱変形は0.007 nmであり、熱変形 $\Delta x$ はインバーだけの場合と殆ど変わらないので、許容される形状誤差よりも充分小さく熱変形を抑えることができる。

【0047】基板上に形成した非晶質薄膜の表面を加工(例えば、切削、研削、研磨)技術により必要な表面粗さに研磨するとミラーが完成する。なお、X線用のミラーとして使用するときには、加工した非晶質薄膜の表面にさらにX線反射多層膜を形成すればよい。なお、この多層膜の厚さは数/10  $\mu\text{m}$ 以下しかないので、その熱変形は無視することができる。

【0048】ニッケル合金等からなる非晶質薄膜層は、無電解メッキ法により形成することができる(請求項7)。以下、本発明を実施例により更に詳細に説明するが、本発明はこの例に限定されるものではない。

【0049】

【実施例】本実施例では、インバー基板の表面に無電解メッキによるニッケルの非晶質薄膜を形成し、その表面を加工(切削、研削、研磨)して必要な表面粗さとし、さらに加工した非晶質薄膜の表面にX線反射多層膜を形成して、直径200 mm、曲率半径500 mm、中心厚さ50 mmのX線多層膜反射ミラーを製造した。図1を引用して、その製造工程を順に説明する。

【0050】まず、インバー素材を研削加工して直径200 mm、中心厚さ30 mm、表面が曲率半径500 mmの凹面で裏面が平面のインバー製基板1を作製した。そして、基板表面(薄膜を形成する面)を電解研磨加工により表面粗さ10 nm(rms)以下の鏡面に仕上げから、この表面に無電解メッキ法によりニッケル合金からなる非晶質薄膜2を厚さが500  $\mu\text{m}$ となるように形成した。

【0051】次に、非晶質薄膜2の表面を研削および研磨して、表面粗さが0.4 nm(rms)となるまで平滑にした。このようにして、インバー製基板1上にニッケル合金からなる非晶質薄膜2を形成したX線ミラー用の基板3を作製した。最後に、イオンビームスパッタリングにより、モリブデン(Mo)とシリコン(Si)から

なる周期長6.7 nm、積層数50層のX線反射多層膜4を基板3の表面に形成してX線反射ミラーを完成した。

【0052】このX線反射ミラーは、裏面を冷却して一定温度に保っておけば、 $10\text{ mW}/\text{cm}^2$ の熱流束がその全面または一部に入射しても、熱変形は0.1 nm以下となり、波長13 nmのX線を用いた回折限界の光学系を構成することができた。なお、本実施例では低熱膨張性の金属製基板1の材料としてインバーを用いたが、その材料はインバーに限定されない。但し、その熱膨張係数は $1 \times 10^{-7}/\text{K}$ 以下であることが好ましい。

【0053】本実施例にかかる反射鏡によれば、形状誤差及び表面粗さを小さくし、かつX線などの照射光による熱変形を充分小さく抑えることができる。そして、本実施例にかかる反射鏡は、これをX線光学系に用いたX線投影露光装置の高解像力と高スループットとを両立させることができる。本実施例にかかる反射鏡は、X線投影露光装置以外のX線光学系や、X線以外の波長域で使用する高精度の反射光学系にも適用可能であり、同様の効果が得られる。

【0054】なお、X線以外の波長域で使用する高精度の反射光学系に適用する場合には、X線を反射する多層膜は不要である。

【0055】

【発明の効果】以上説明したように、本発明にかかる反

射鏡によれば、形状誤差及び表面粗さを小さくし、かつX線などの照射光による熱変形を充分小さく抑えることができるので、高精度の光学系を提供できる。そのため、本発明にかかる反射鏡は、これをX線光学系に用いたX線投影露光装置の高解像力と高スループットとを両立させることができる。

【0056】また、本発明にかかる反射鏡は、X線投影露光装置以外のX線光学系や、X線以外の波長域で使用する高精度の反射光学系にも適用可能であり、同様の効果が得られる。

【図面の簡単な説明】

【図1】実施例の反射鏡を示す概略断面図である。

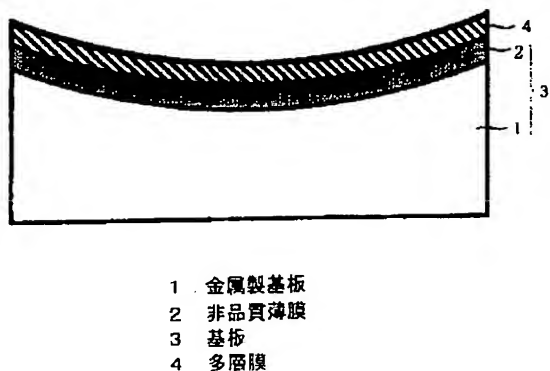
【図2】反射鏡を構成する基板の熱変形を説明する図である。

【図3】反射鏡を構成する基板の表面粗さによる多層膜ミラーの反射率の差異を示す図である。

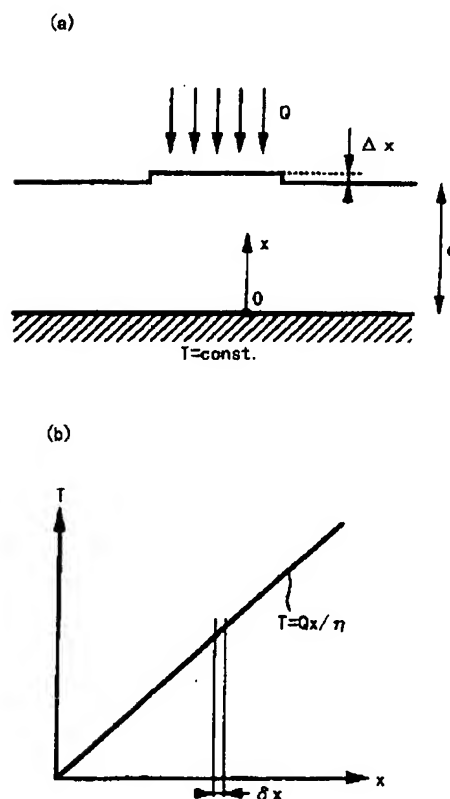
【主要部分の符号の説明】

- 1 低熱膨張性の金属製基板または合金製基板
  - 2 非晶質薄膜（ニッケル合金の非晶質薄膜層またはニッケル合金を主成分とする非晶質薄膜層）
  - 3 X線ミラー用基板
  - 4 X線反射多層膜
- 以上

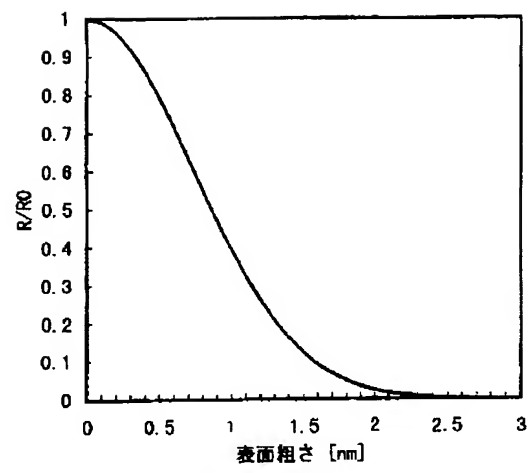
【図1】



【図2】



【図3】





**This Page is Inserted by IFW Indexing and Scanning  
Operations and is not part of the Official Record**

**BEST AVAILABLE IMAGES**

Defective images within this document are accurate representations of the original documents submitted by the applicant.

Defects in the images include but are not limited to the items checked:

- ☐ **BLACK BORDERS**
- ☐ **IMAGE CUT OFF AT TOP, BOTTOM OR SIDES**
- ☐ **FADED TEXT OR DRAWING**
- ☒ **BLURRED OR ILLEGIBLE TEXT OR DRAWING**
- ☐ **SKEWED/SLANTED IMAGES**
- ☐ **COLOR OR BLACK AND WHITE PHOTOGRAPHS**
- ☐ **GRAY SCALE DOCUMENTS**
- ☐ **LINES OR MARKS ON ORIGINAL DOCUMENT**
- ☐ **REFERENCE(S) OR EXHIBIT(S) SUBMITTED ARE POOR QUALITY**
- ☐ **OTHER:** \_\_\_\_\_

**IMAGES ARE BEST AVAILABLE COPY.**

**As rescanning these documents will not correct the image problems checked, please do not report these problems to the IFW Image Problem Mailbox.**